

2 Analoge und digitale Oszilloskope

Bei Standardoszilloskopen unterscheidet man zwischen analogen und digitalen Messgeräten. Ein analoges Oszilloskop arbeitet in Echtzeit, d. h. das eingehende Signal wird sofort am Bildschirm sichtbar. Ein digitales Oszilloskop tastet zuerst das Eingangssignal ab und speichert es in einem Schreib-Lese-Speicher zwischen. Wenn die Messung abgeschlossen ist, erscheint das gespeicherte Messsignal am Bildschirm.

Als Oszilloskop bezeichnet man eine Messeinrichtung, mit der sich schnell ablaufende Vorgänge, vorwiegend Schwingungsvorgänge aus der Elektrotechnik, Elektronik, Mechanik, Pneumatik, Hydraulik, Mechatronik, Nachrichtentechnik, Informatik, Physik usw. sichtbar auf einem Bildschirm verfolgen lassen. Arbeitet man mit einem analogen Oszilloskop, lassen sich die zu messenden Vorgänge kurzzeitig betrachten, denn es besteht keine Speichermöglichkeit. Sollen die Kurvenzüge einer Messung jedoch gespeichert werden, benötigt man ein digitales Oszilloskop. Wenn ein digitales Oszilloskop eingesetzt wird, ist für den Praktiker Folgendes unbedingt zu beachten:

- Einmalige Ereignisse sind über einen längeren Zeitraum sichtbar.
- Bei niederfrequenten Vorgängen lässt sich das charakteristische Flimmern oder Flackern der Bildschirmdarstellung beseitigen.
- Jede Veränderung während eines Schaltungsabgleichs kann man langfristig auf dem Bildschirm betrachten.
- Aufgenommene Signale sind mit Standard-Kurvenformen, die gespeichert vorliegen, vergleichbar.
- Transiente Vorgänge, die häufig nur einmal auftreten, lassen sich unbeaufsichtigt überwachen (Eventoskop-Funktion).
- Für Dokumentationszwecke lassen sich die Kurvenformen aufzeichnen, die man dann in Texte einbinden kann.

Herkömmliche (analoge) Oszilloskope bieten im Allgemeinen nicht die Möglichkeit, derartige Vorgänge über längere Zeit auf dem Bildschirm festzuhalten, sofern sie überhaupt dafür geeignet sind. Tatsächlich sind dann auch die meisten Messvorgänge mit diesem Oszilloskop praktisch nicht sichtbar. Die einzige Lösung, sie dauerhaft aufzuzeichnen, besteht in der Bildschirmfotografie. Demgegenüber vermindert sich dieser Aufwand mithilfe einer Bildspeicherröhre beträchtlich, doch sind die höheren Anschaffungskosten keineswegs vernachlässigbar. Prinzipiell sind bei Oszillografen zwei Varianten (*Abb. 2.1*) vorhanden, das herkömmliche analoge Oszilloskop und das digitale Speicheroszilloskop.

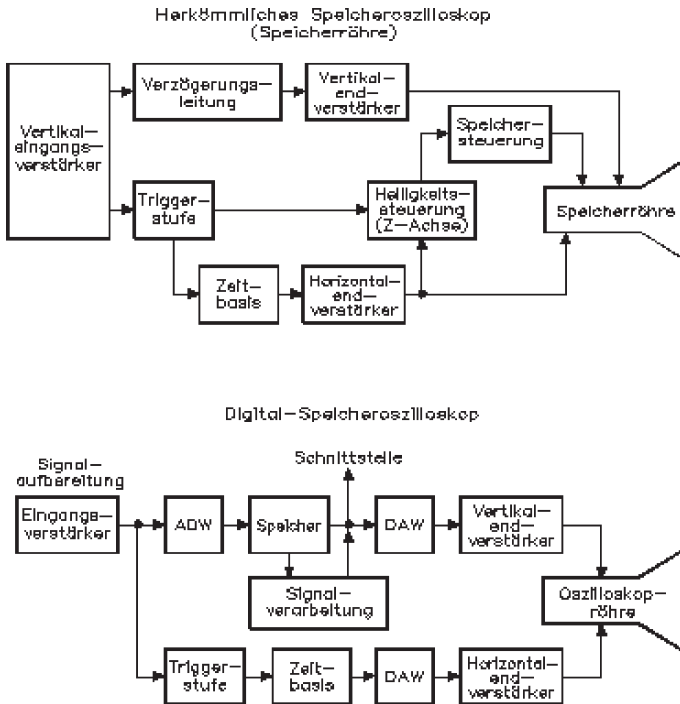


Abb. 2.1: Vergleich zwischen einem herkömmlichen analogen Oszilloskop und einem digitalen Speicheroszilloskop

Die Anfänge der Bildspeicherung in Oszilloskopen beruhen auf der Basis eines bistabilen Bildschirmmaterials. In der Praxis wurden dazu Elektronenstrahlröhren verwendet, deren Bildschirm aus Material mit bistabilen Eigenschaften besteht und somit zweier (stabiler) Zustände fähig ist, nämlich beschrieben oder unbeschrieben. Die bistabile Speicherung zeichnet sich durch einfachste Handhabung aus und ist zudem wohl das kostengünstigere Verfahren der herkömmlichen Speicherverfahren, da man ein Standardoszilloskop mit einer anderen Bildröhre und wenigen Steuereinheiten nachrüsten kann. Was jedoch die Schreibgeschwindigkeit des Elektronenstrahls auf dem Bildschirm betrifft, ist es keineswegs zum Besten bestellt. Die wesentlichen Anwendungen dieses Speicherverfahrens findet man deshalb auch in der Mechanik, bei Signalvergleichen und bei der Datenaufzeichnung. Die meisten bistabilen Oszilloskopröhren verfügen über einen in zwei Bereiche unterteilten Bildschirm, d. h., dass die Speicherung eines Signals auf der einen Bildschirmhälfte vom Geschehen auf der anderen unbeeinflusst bleibt, was zweifellos ein wichtiger Vorteil ist. Das schafft die Möglichkeit, eine bekannte Kurvenform als Muster zu speichern und mit einer anderen Kurvenform zu vergleichen. Allerdings kann dies auch sehr einfach und zugleich wirkungsvoll mit einem digitalen Speicheroszilloskop geschehen. Damit stand bereits seit 1970 fest, dass die bistabile Speicherung keine Zukunft hat.

2.1 Aufbau eines analogen Oszilloskops

Das Elektronenstrahloszilloskop oder Katodenstrahloszilloskop (KO) ist seit 80 Jahren zu einem vertrauten und weit verbreiteten Messgerät in vielen Bereichen der Forschung, Entwicklung, Instandhaltung und im Service geworden. Die Popularität ist durchaus angebracht, denn kein anderes Messgerät bietet eine derartige Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten.

Im Wesentlichen besteht ein analoges Oszilloskop aus folgenden Teilen:

- Elektronenstrahlröhre
- Vertikal- oder Y-Verstärker
- Horizontal- oder X-Verstärker
- Zeitablenkung
- Triggerstufe
- Netzteil

Ein Oszilloskop ist wesentlich komplizierter im Aufbau als andere anzeigende Messgeräte (Abb. 2.2). Zum Betrieb der Katodenstrahlröhre sind eine Reihe von Funktionseinheiten nötig, unter anderem die Spannungsversorgung mit der Heizspannung, mehrere Anodenspannungen und der Hochspannung bis zu 5 kV. Die Punkthelligkeit wird durch eine negative Vorspannung gesteuert und die Punktschärfe durch die Höhe der Gleichspannung an der Elektronenoptik. Eine Gleichspannung sorgt für die Möglichkeit zur Punktverschiebung in vertikaler, eine andere für Verschiebung in horizontaler Richtung. Die sägezahnförmige Spannung für die Zeitablenkung wird in einem eigenen Zeitbasisgenerator erzeugt. Außerdem sind je ein Verstärker für die Messspannung in X- und Y-Richtung eingebaut.

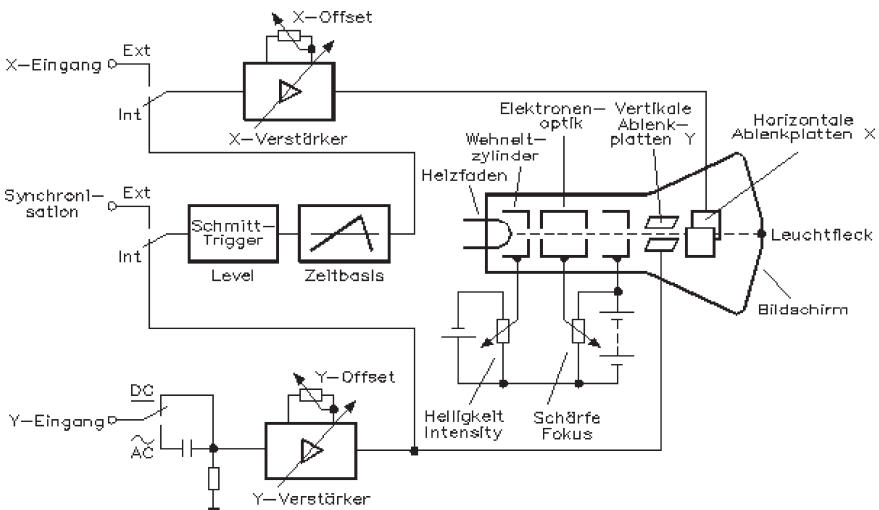


Abb. 2.2: Blockschaftbild eines analogen Einkanal-Oszilloskops

Die Bedienungselemente sind in *Tabelle 2.1* zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Bedienungselemente

Beschriftung	Funktion	Beschriftung	Funktion
POWER	Netzschalter, Ein/Aus	X-MAGN	Dehnung der Zeitablenkung
INTENS	Rasterbeleuchtung Helligkeitseinstellung des Oszilloskops	Triggerung: A; B	Zeitablenkung getriggert durch - Signal von Kanal A (B)
FOCUS	Schärfereinstellung	EXT	- externes Signal
INPUT A (B)	Eingangsbuchsen für Kanal A (B)	Line	- Signal von der Netzspannung
AC-DC-GND	Eingang über Kondensator (AC), direkt (DC) oder auf Masse (GND) geschaltet	LEVEL	Einstellung des Triggersignalpegels
CHOP	Strahlumschaltung mit Festfrequenz von einem Vertikalkanal zu anderen	NIVEAU	Endstellung der LEVEL-Einstellung
ALT	Strahlumschaltung am Ende des Zeitablenkzyklus von einem Vertikalkanal zu anderen	AUTO	Automatische Triggerung der Zeitablenkung beim Spitzenpegel
INVERT CH.B	Messsignal auf Kanal B wird invertiert	+/-	Ohne Triggersignal ist die Zeitablenkung frei laufend Triggerung auf positiver bzw. negativer Flanke des Triggersignals
ADD	Addition der Signale von A und B	TIME/DIV	Zeitmaßstab in $\mu\text{s}/\text{DIV}$ oder ms/DIV
POSITION	Vertikale Strahlverschiebung Horizontale Strahlverschiebung	VOLT/DIV	Vertikalabschwächer in mV/DIV oder V/DIV
		CAL	Eichpunkt für Maßstabsfaktoren

An die Sägezahnspannung werden hohe Anforderungen gestellt. Sie soll den Strahl gleichmäßig in waagerechter Richtung von links nach rechts über den Bildschirm führen und dann möglichst rasch von rechts nach links zum Startpunkt zurückeilen. Der Spannungsanstieg muss linear verlaufen und der Rücklauf ist sehr kurz. Außerdem ist die Sägezahnspannung in ihrer Frequenz veränderbar.

2.1.1 Elektronenstrahlröhre

Katodenstrahlen entstehen in stark evakuierten Röhren (Druck kleiner als 1 Pa), wenn an den Elektroden der Heizung eine hohe Gleichspannung liegt. Die erzeugten Katodenstrahlen bestehen aus Elektronen hoher Geschwindigkeit und breiten sich geradlinig aus. Sie schwärzen beispielsweise fotografische Schichten. Glas, Leuchtfarben und bestimmte Mineralien werden von ihnen zum Leuchten gebracht (Fluoreszenz). Über magnetische und elektrische Felder lassen sich die Elektronenstrahlen entsprechend der angelenkten Polarität auslenken.

In metallischen Leiterwerkstoffen sind die Elektronen der äußersten Atomhülle nicht fest an einen bestimmten Atomkern gebunden. Diese Leitungselektronen bewegen sich verhältnismäßig frei zwischen den Atomrümpfen. Unter dem Einfluss der praktisch immer vorhandenen Wärmeenergie „schwirren“ die Leitungselektronen ungeordnet und mit hoher Geschwindigkeit in alle Richtungen. Die mittlere Geschwindigkeit der Wärmebewegung steigt, wenn man die Temperatur des betreffenden Materials

durch Zufuhr von Energie erhöht. Fließt ein Elektronenstrom im Leiter, überlagert sich diese Wärmebewegung zu einer langsamen und gleichmäßigen Strombewegung. Bei genügend hoher Temperatur bewegen sich die Leitungselektronen so heftig, dass einige von ihnen die Oberfläche des Metalls verlassen. Jedes Elektron erhöht beim Verlassen der Katode deren positive Ladung. Da sich ungleichartige Ladungen anziehen, kehren die emittierten Elektronen im Nahbereich der Katode wieder zurück. Diese ausgesendeten und wieder zurückkehrenden Elektronen umhüllen die Katode mit einer Elektronenwolke (Raumladung). *Tabelle 2.2* zeigt die Austrittsarbeit eines Elektrons bei verschiedenen Materialien für die Katoden.

Tabelle 2.2: Austrittsarbeit eines Elektrons bei verschiedenen Werkstoffen für die Katode

Katodenmaterial	BaSrO	Caesium	Quecksilber	Wolfram	Platin
Austrittsarbeit (eV) für ein Elektron (Ws)	≈1	≈1,9	≈4,5	≈4,5	≈6
	≈ $1,6 \times 10^{-19}$	≈ $3,1 \times 10^{-19}$	≈ $7,3 \times 10^{-19}$	≈ $7,3 \times 10^{-19}$	≈ $9,6 \times 10^{-19}$

Elektronen mit hoher Austrittsgeschwindigkeit entfernen sich genügend weit von der Katode und erreichen den Wirkungsraum des elektrischen Felds zwischen Anode und Katode. Die Kraft dieses Felds treibt die Elektronen mit zunehmender Geschwindigkeit zur Anode hin. Für die Austrittsarbeit benötigt ein Elektron eine bestimmte Energie, die für verschiedene Werkstoffe entsprechend groß ist.

Fließt ein Strom durch einen Leiter, entsteht die erforderliche Wärmeenergie für eine Thermoemission. Wenn der glühende Heizfaden selbst Elektronen emittiert, spricht man von einer „direkt geheizten Katode“. In der Röhrentechnik setzte man ausschließlich Wolfram-Heizfäden ein, die bei sehr hoher Temperatur arbeiten, weil die Leitungselektroden in reinen Metallen eine große Austrittsarbeit vollbringen müssen. Heute verwendet man meistens „indirekt geheizte Katoden“ aus Barium-Strontium-Oxid (BaSrO). Bei üblichen Ausführungen bedeckt das emittierende Mischoxid die Außenfläche eines Nickelröhrchens.

Die Elektronenstrahlröhre beinhaltet eine indirekt beheizte Katode. Der Heizwendel ist in einem Nickelzylinder untergebracht und heizt diesen auf etwa 830 °C auf, wobei ein Strom von etwa 500 mA fließt. An der Stirnseite des Zylinders sind Strontiumoxid und Bariumoxid aufgebracht. Durch die Heizleistung entsteht unmittelbar an dem Zylinder eine Elektronenwolke. Da an der Anode der Elektronenstrahlröhre eine hohe positive Spannung liegt, entsteht ein Elektronenstrahl, der sich vom Zylinder zur Anode mit annähernd Lichtgeschwindigkeit bewegt. Durch die Anordnung eines „Wehnelt“-Zylinders über dem Nickelzylinder verbessert sich die Elektronenausbeute erheblich und gleichzeitig lässt sich der Wehnelt-Zylinder für die Steuerung des Elektronenstroms verwenden.

Die Elektronen, von der Katode emittiert, werden durch das elektrostatische Feld zwischen Gitter G_1 und Gitter G_2 (die Polarität der Elektroden ist in der Abbildung zu er-

sehen) „vorgebündelt“. Die Bewegung eines Elektrons quer zur Richtung eines elektrischen Felds entspricht einem waagerechten Wurf und die Flugbahn hat die Form einer Parabel. An Stelle der Fallbeschleunigung tritt die Beschleunigung auf, die das elektrische Feld erzeugt mit:

$$a = \frac{E}{m_e}$$

a = Beschleunigung mit konstantem Wert der Zeit t

E = elektrische Feldstärke

m_e = Masse des Elektrons

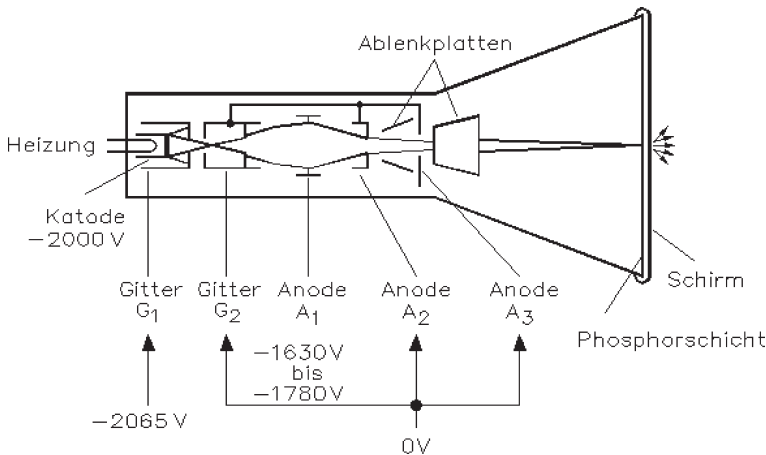


Abb. 2.3: Querschnitt einer Elektronenstrahlröhre

Durch das negative Potenzial an dem Wehnelt-Zylinder (Abb. 2.3), lässt sich der Elektronenstrahl zu einem Brennpunkt „intensivieren“. Aus diesem Grunde befindet sich hier die Einstellmöglichkeit für die Helligkeit (Intensity) des Elektronenstrahls.

Nach der Katode beginnt der Elektronenstrahl auseinanderzulaufen, bis er in ein zweites elektrostatisches Feld eintritt, das sich zwischen Anode A₁ und A₂ befindet und einen längeren Bündelungsweg aufweist. Anode A₁ ist die Hauptbündelungs- oder Fokussierungselektrode. Durch Änderung der Spannung an diesem Punkt lässt sich der Strahl auf dem Bildschirm der Elektronenstrahlröhre scharf bündeln.

Die Beschleunigung der Elektronen von der Katode zum Bildschirm erfolgt durch das elektrostatische Feld entlang der Achse der Elektronenröhre. Dieses Feld ist gegeben durch den Potenzialunterschied zwischen der Katode und den zwischengefügten Elektroden A₁ und A₂. Diese Beschleunigungselektroden erfüllen noch zusätzlich folgende Aufgaben: Sie sorgen für eine Abgrenzung zwischen den einzelnen Elektrodengruppen jeweils vor und nach der Bündelung. Auf diese Weise wird eine gegenseitige Beeinflussung zwischen dem Steuergitter am Wehnelt-Zylinder (Helligkeitsregelung) und der Fokussierungsanode A₁ verhindert.

Zwischen der „Elektronenkanone“ und dem Bildschirm befinden sich zwei Ablenkplattenpaare. Diese Platten sind so angeordnet, dass die elektrischen Felder zwischen jeweils zwei Platten zueinander im rechten Winkel stehen. Durch den Einfluss des elektrischen Felds zwischen zwei Platten jeden Paares wird der Elektronenstrahl zu der Platte abgelenkt, die ein positives Potenzial hat. Das Gleiche gilt für das andere Plattenpaar. So ist es möglich, dass sich der Elektronenstrahl fast trägeheitslos in zwei Ebenen ablenken lässt, z. B. in den X- und Y-Koordinaten des Bildschirms. Im Normalbetrieb wird die X-Ablenkung des Geräts über einen Sägezahn-generator erzeugt, der den Strahl von links nach rechts über den Bildschirm „wandern“ lässt, während das zu messende Signal die Y-Ablenkung erzeugt.

Nach dem Verlassen der Elektronenkanone durchläuft der Elektronenstrahl zunächst das elektrische Feld der vertikal ablenkenden Platten (Y-Ablenkplatten). Die horizontal ablenkenden Platten (X-Ablenkplatten) liegen meist näher beim Leuchtschirm und deshalb benötigen sie für die gleiche Auslenkung eine höhere Spannung. Der Ablenkoeffizient AR der Elektronenstrahlröhre gibt die Strahlauslenkung für den Wert von „1 Div“ Division, (d. h. zwischen 8 mm bis 12 mm für eine Maßeinheit) und liefert für die Ablenkplatten die notwendige Spannung. Normalerweise liegen diese Werte je nach Röhrentyp zwischen einigen $\mu\text{V}/\text{Div}$ bis $100 \text{ V}/\text{Div}$. Die von einem Ablenkplattenpaar verursachte Strahlauslenkung verringert sich bei gleicher Ablenkspannung mit wachsender Geschwindigkeit der durchfliegenden Elektronen. Die Leuchtdichte auf dem Schirm wächst mit der Geschwindigkeit der auftreffenden Elektronen. Moderne Elektronenstrahlröhren besitzen deshalb zwischen den X-Ablenkplatten und dem Leuchtschirm eine Nachbeschleunigungselektrode. Die Elektronen erhalten die für eine hohe Leuchtdichte erforderliche Geschwindigkeit nach dem Durchlaufen der Ablenkplatten. Auf diese Weise erzielt man einen kleinen Ablenkoeffizienten und eine große Leuchtdichte.

Durch Veränderung der mittleren Spannung (ohne Steuersignal) an den Ablenkplatten, lässt sich die Ruhelage des Elektronenstrahls in horizontaler und in vertikaler Richtung verschieben. Die Potentiometer für diese Strahlverschiebung gehören zum Verstärker für die entsprechende Ablenkrichtung.

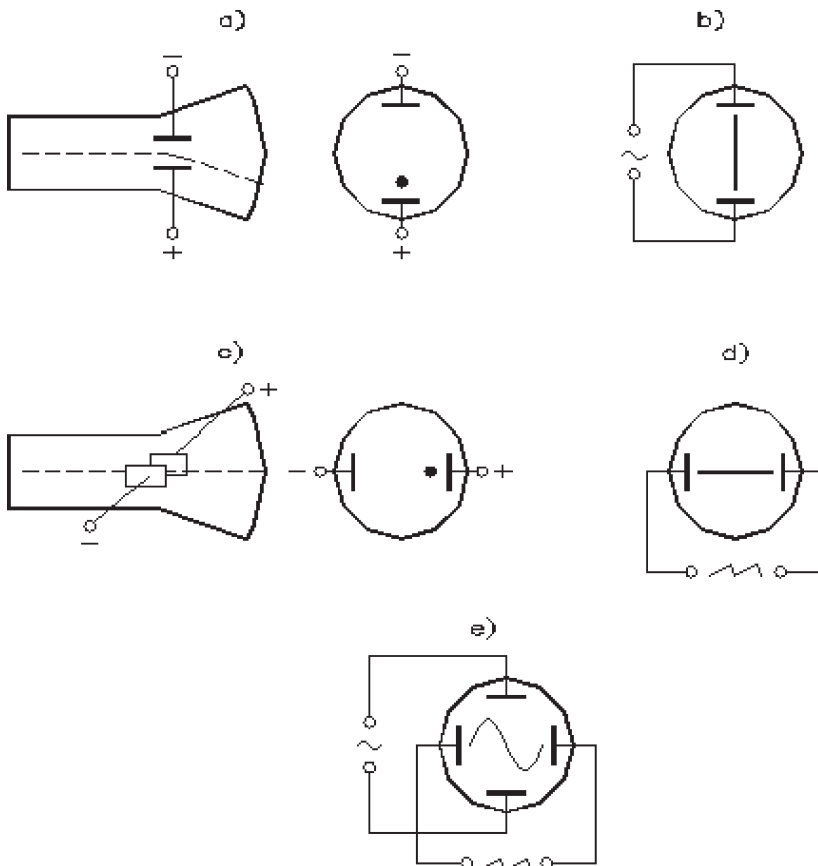


Abb. 2.4: Möglichkeiten der Beeinflussung des Elektronenstrahls durch die beiden Ablenkplattenpaare

- Der Strahl aus negativen Elektronen wird in Richtung der positiven Platte abgelenkt (Vertikal-Ablenkung Y-Platten)
- Der Strahl aus negativen Elektronen wird in Richtung der positiven Platte abgelenkt (Horizontal-Ablenkung X-Platten)
- Wechselspannung an einem Plattenpaar ergibt eine Linie (Strich)
- Sägezahnspannung an einem Plattenpaar ergibt auch eine Linie (Strich)
- Sägezahn- und Wechselspannung ergeben eine Sinuskurve

Im Prinzip sind fünf Möglichkeiten zur Beeinflussung (Abb. 2.4) des Elektronenstrahls durch die beiden Ablenkplattenpaare vorhanden. Im ersten Beispiel hat die obere Vertikalplatte eine negative Spannung, während die untere an einem positiven Wert liegt. Aus diesem Grund wird der Elektronenstrahl durch die beiden Y-Platten nach unten abgelenkt, denn der Elektronenstrahl besteht aus negativen Ladungseinheiten.

Hat die linke Horizontalplatte eine negative und die rechte eine positive Spannung, wird der Elektronenstrahl durch die beiden X-Platten nach rechts abgelenkt. Legt man an die beiden Y-Platten eine sinusförmige Wechselspannung an, entsteht im Bildschirm eine senkrechte und gleichmäßige Linie. Das gilt auch, wenn man an die beiden X-Platten eine Wechselspannung anlegt. In der Praxis arbeitet man jedoch mit einer Sägezahnspannung mit linearem Verlauf vom negativen in den positiven Spannungsbereich. Ist das Maximum erreicht, erfolgt ein schneller Spannungssprung vom positiven in den negativen Bereich und es erfolgt der Strahlrücklauf. Legt man an die Y-Platten eine Wechselspannung und an die X-Platten die Sägezahnspannung, kommt es zur Bildung einer Sinuskurve im Bildschirm, vorausgesetzt, die zeitlichen Bedingungen sind erfüllt.

Den Abschluss der Elektronenstrahlröhre bildet der Bildschirm mit seiner Phosphorschicht. Den Herstellerunterlagen entnimmt man folgende Daten über den Bildschirm:

- Schirmform (Rechteck, Kreis, usw.)
- Schirmdurchmesser oder Diagonale
- nutzbare Auslenkung und X- und Y-Richtung
- Farbe der Leuchtschicht
- Helligkeit des Leuchtflecks in Abhängigkeit der Zeit (Nachleuchtdauer)

Die vom Elektronenstrahl „geschriebene“ Linie ist je nach Schirmart noch eine bestimmte Zeit lang zu sehen. Die Hersteller von Elektronenstrahlröhren geben als Nachleuchtdauer meistens die Zeitspanne für die Verringerung auf 50 % der anfänglichen Leuchtdichte an. Die Nachleuchtdauer liegt je nach Herstellung zwischen 50 μs und 0,5 s und das hat auch seinen Preis. In der Praxis hat man folgende Bereichsangaben:

$t > 1 \text{ s}$	→	sehr lang
$t = 100 \text{ ms} \dots 1 \text{ s}$	→	lang
$t = 1 \text{ ms} \dots 100 \text{ ms}$	→	mittel
$t = 10 \mu\text{s} \dots 1 \text{ ms}$	→	mittelkurz
$t = 1 \mu\text{s} \dots 10 \mu\text{s}$	→	kurz
$t < 1 \mu\text{s}$	→	sehr kurz

Bei periodischen Vorgängen (z. B. Wechselspannung, Impulsfolgen usw.) durchläuft der Elektronenstrahl immer wieder die gleiche Spur auf dem Leuchtschirm.

Wenn die Frequenz genügend groß ist, vermag das menschliche Auge, das sehr träge ist, eine Verringerung der Leuchtdichte kaum zu erkennen.

Der Schirm darf sich durch die auftreffenden Elektronen nicht negativ aufladen, da sich gleichnamige Ladungen abstoßen. Die Phosphorkristalle der Leuchtschicht emittieren deshalb Sekundärelektronen, die zur positiven Beschleunigungsanode fliegen.

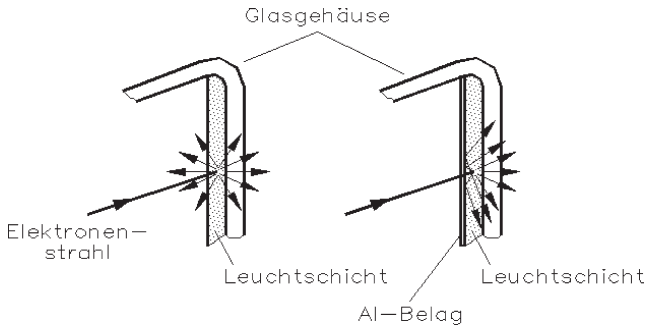


Abb. 2.5: Entstehung eines Leuchtflecks am Bildschirm der Elektronenstrahlröhre

Abb. 2.5 zeigt die Entstehung eines Leuchtflecks am Bildschirm. Einige Röhren enthalten, ähnlich wie Fernsehbildröhren, auf der Rückseite des Schirms eine sehr dünne Aluminiumschicht. Diese Metallschicht lässt den Elektronenstrahl durchlaufen, reflektiert aber das in der Leuchtschicht erzeugte Licht nach außen. Diese Maßnahme verbessert den Bildkontrast und die Lichtausbeute. Die mit der Nachbeschleunigungsanode leitend verbundene Aluminiumschicht kann die negativen Ladungsträger des Elektronenstrahls ableiten.

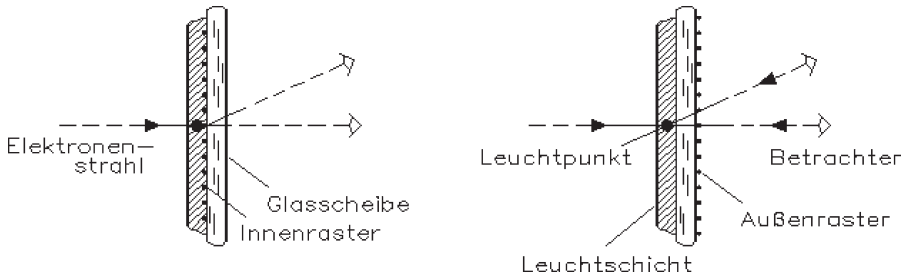


Abb. 2.6: Innen- und Außenraster einer Elektronenstrahlröhre

Abb. 2.6 zeigt die beiden Möglichkeiten für ein Innen- und Außenraster einer Elektronenstrahlröhre. Ein durch Flutlicht beleuchtetes Raster erleichtert das Ablesen der Strahlauslenkung. Wenn dieses Raster innen aufgebracht ist, liegt es mit der Leuchtschicht praktisch in einer Ebene. Die Messergebnisse sind in diesem Fall nicht vom Blickwinkel des Betrachters abhängig und man erreicht ein parallaxfreies Ablesen.

Zweckmäßig wählt man ein Raster, dessen Linien in einem Abstand von 10 mm parallel zueinander entfernt verlaufen. Da dies häufig nicht der Fall ist, spricht man von den „Divisions“ bei den Hauptachsen. Die Hauptachsen erhalten noch eine Feinteilung im Abstand von 2 mm bzw. 0,2 Div. Die Hauptachsen weisen weniger als zehn Teilstrecken mit jeweils einer Länge von 10 mm auf, wenn die nutzbare Auslenkung der Elektronenstrahlröhre kleiner ist als 100 mm.

Wichtig ist auch die Beleuchtungseinrichtung der Rasterung. Die Beleuchtung erfolgt durch seitliches Flutlicht und ist in der Helligkeit einstellbar. Bei vielen Oszilloskopen ist der Ein-Aus-Schalter drehbar und nach dem Einschalten kann man über SCALE ILLUM, SCALE oder ILLUM die Helligkeit entsprechend einstellen. Dies ist besonders wichtig bei fotografischen Aufnahmen.

Der Elektronenstrahl lässt sich durch elektrische oder magnetische Felder auch außerhalb der Steuerstrecken (zwischen den Plattenpaaren) ablenken. Um den unerwünschten Einfluss von Fremdfeldern zu vermeiden (z. B. Streufeld des Netztransformators), enthält die Elektronenstrahlröhre einen Metallschirm mit guter elektrischer und magnetischer Leitfähigkeit. Daher sind diese Abschirmungen fast immer aus Mu-Metall, einem hochpermeablen Werkstoff.

2.1.2 Horizontale Zeitablenkung und X-Verstärker

Die beiden X- und Y-Verstärker in einem Oszilloskop bestimmen zusammen mit der Zeitablenkeinheit (Sägezahngenerator) und dem Trigger die wesentlichen Eigenschaften für dieses Messgerät. Aus diesem Grunde sind einige Hersteller im oberen Preisniveau zur Einschubtechnik übergegangen. Ein Grundgerät enthält unter anderem den Sichtteil (Elektronenstrahlröhre) und die Stromversorgung. Für die Zeitablenkung (X-Richtung) und für die Y-Verstärkung gibt es zum Grundgerät die passenden Einschübe mit speziellen Eigenschaften.

Die horizontale oder X-Achse einer Elektronenstrahlröhre ist in Zeiteinheiten unterteilt. Der Teil des Oszilloskops, der zuständig für die Ablenkung in dieser Richtung ist, wird aus diesem Grunde als „Zeitablenkgenerator“ oder Zeitablenkung bzw. Zeitbasisgenerator bezeichnet. Außerdem befinden sich vor dem X-Verstärker folgende Funktionseinheiten, die über Schalter auswählbar sind:

- Umschalter für den internen oder externen Eingang
- Umschalter für ein internes oder externes Triggersignal
- Umschalter für die Zeitbasis
- Umschalter für das Triggersignal
- Umschalter für Y-T- oder X-Y-Betrieb

Außerdem lässt sich durch mehrere Potentiometer der X-Offset, der Feinabgleich der Zeitbasis und die Triggerschwelle beeinflussen.

Die X-Ablenkung auf dem Bildschirm kann auf zwei Arten erfolgen: entweder als stabile Funktion der Zeit bei Gebrauch des Zeitbasisgenerators oder als eine Funktion der Spannung, die auf die X-Eingangsbuchse gelegt wird. Bei den meisten Anwendungsfällen in der Praxis wird der Zeitbasisgenerator verwendet.

Bei dem X-Verstärker handelt es sich um einen Spezialverstärker, denn er muss mehrere 100 V an seinen Ausgängen erzeugen können. Eine Elektronenstrahlröhre mit dem Ablenkoeffizient $A_R = 20 \text{ V/Div}$ benötigt für eine Strahlauslenkung von 10 Div an den be-

treffenden Ablenkplatten eine Spannung von $U = 20 \text{ V/Div} \times 10 \text{ Div} = 200 \text{ V}$. Da der interne bzw. der externe Eingang des Oszilloskops nur Spannungswerte von 10 V liefert, ist ein entsprechender X-Verstärker erforderlich. Der X-Verstärker muss eine Verstärkung von $v = 20$ aufweisen und bei einigen Oszilloskopen findet man außerdem ein Potentiometer für die direkte Beeinflussung der Verstärkung im Bereich von $v = 1$ bis $v = 5$. Wichtig bei der Messung ist immer die Stellung mit $v = 1$, damit sich keine Messfehler ergeben. Mittels des Potentiometers „X-Adjust“, das sich an der Frontplatte befindet, lässt sich eine Punkt- bzw. Strahlverschiebung in positiver oder negativer Richtung durchführen.

Der Zeitbasisgenerator und seine verschiedenen Steuerkreise werden durch den „TIME/Div“- oder „V/Div“-Schalter in den Betriebszustand gebracht. Wie bereits erklärt, ist eine Methode, ein feststehendes Bild eines periodischen Signals zu erhalten, die Triggerung oder das Starten des Zeitbasisgenerators auf einen festen Punkt des zu messenden Signals. Ein Teil dieses Signals steht dafür in Position A und B des Triggerwahlschalters „A/B“ oder „extern“ zur Verfügung. Bei einem Einstrahloszilloskop hat man nur einen Y-Verstärker, der mit „A“ gekennzeichnet ist. Ein Zweistrahloszilloskop hat zwei getrennte Y-Verstärker und mittels eines mechanischen bzw. elektronischen Schalters kann man zwischen den beiden Verstärkern umschalten.

Die Triggerimpulse können zeitgleich entweder mit der Anstiegs- oder Abfallflanke des Eingangssignals erzeugt werden. Dies ist abhängig von der Stellung des \pm -Schalters am Eingangsverstärker. Nach einer ausreichenden Verstärkung wird das Triggersignal über einen speziellen Schaltkreis, dessen Funktionen von der Stellung des Schalters NORM/TV/MAINS auf der Frontplatte abhängig ist, weiterverarbeitet. Für diesen Schalter gilt:

- NORM (normal): Der Schaltkreis arbeitet als Spitzendetektor, der die Triggersignale in eine Form umwandelt, die der nachfolgende Schmitt-Trigger weiter verarbeiten kann.
- TV (Television): Hier wird vom anliegenden Video-Signal entweder dessen Zeilen- oder Bild-Synchronisationsimpuls getrennt, je nach Stellung des TIME/DIV-Schalters. Bildimpulse erhält man bei niedrigen und Zeilenimpulse bei hohen Wobbelgeschwindigkeiten.
- MAINS (Netz): Das Triggersignal wird aus der Netzfrequenz von der Sekundärspannung des internen Netztransformators erzeugt.

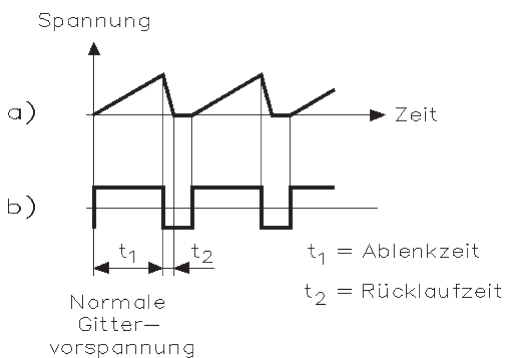


Abb. 2.7: Der Verlauf der X-Ablenkspannung (Sägezahnfunktion) und die Arbeitsweise des Rücklaufunterdrückungsimpulses werden durch die Zeit t_2 definiert.

Der Zeitablenkgenerator erzeugt ein Signal, dessen Amplitude mit der Zeit linear ansteigt, wie der Kurvenzug (Abb. 2.7a) zeigt. Dieses Signal wird durch den X-Verstärker verstärkt und liegt dann an den X-Platten der Elektronenstrahlröhre. Beginnend an der linken Seite des Bildschirms (Zeitpunkt null) wandert der vom Elektronenstrahl auf der Leuchtschicht erzeugte Lichtpunkt mit gleichbleibender Geschwindigkeit entlang der X-Achse, vorausgesetzt, der X-Offset wurde auf die Nulllinie eingestellt. Andernfalls ergibt sich eine Verschiebung in positiver bzw. negativer Richtung. Am Ende des Sägezahns kehrt der Lichtpunkt zum Nullpunkt zurück und ist bereit für die nächste Periode, die sich aus der Kurvenform des Zeitablenkgenerators ergibt.

An die Sägezahnspannung, insbesondere an die Linearität, werden hohe Anforderungen gestellt. Sie soll den Strahl gleichmäßig in waagerechter Richtung über den Bildschirm führen und dann möglichst schnell auf den Nullpunkt (linke Seite) zurückführen. Der Spannungsanstieg muss linear verlaufen. Lädt man einen Kondensator über einen Widerstand auf, ergibt sich eine e-Funktion und daher ist diese Schaltung nicht für einen Sägezahngenerator geeignet. In der Praxis verwendet man statt des Widerstands eine Konstantstromquelle. Da diese einen konstanten Strom liefert, lädt sich der Kondensator linear auf. Diese Schaltungsvariante ist optimal für einen Sägezahngenerator geeignet. Die Entladung kann über einen Widerstand erfolgen, da an den Strahlrücklauf keine hohen Anforderungen gestellt werden. Die Zeit, die für eine volle Schreibbreite und das Zurückkehren zum Nullpunkt benötigt wird, ist gleich der Dauer einer vollen Periode der Zeitablenkung. Während der Leuchtpunkt zum Startpunkt zurückkehrt, hat das Oszilloskop keine definierte Zeitablenkung und daher ist man bemüht, diese Zeit so kurz wie möglich zu halten.

Der Elektronenstrahl, der normalerweise auch während der Rücklaufphase auf dem Bildschirm abgebildet würde, wird automatisch durch die Zeitbasis unterdrückt. Die Rücklaufunterdrückung wird als Aus- oder Schwarztastrung definiert und erfolgt durch Anlegen eines negativen Impulses an das Steuergitter der Elektronenstrahlröhre. Dadurch wird der Elektronenstrahl ausgeschaltet. Dieses geschieht während der abfallenden Flanke der Sägezahnspannung.

Die Zeit (oder Ablenkgeschwindigkeit) der Zeitbasis wird über einen Schalter auf der Frontplatte des Oszilloskops gewählt. Der Schalter mit der entsprechenden Einstellung bestimmt den Zeitmaßstab der X-Achse und ist unterteilt in Zeiteinheiten pro Skalenteil z. B. $\mu\text{s}/\text{Div}$ (Mikrosekunde/Skalenteil), ms/Div (Millisekunde/Skalenteil) und s/Div (Sekunde/Skalenteil). Ein Wahlschalter ermöglicht die Auswahl zwischen der internen Zeitablenkung oder einer externen Spannung, die an die X-INPUT-Buchse gelegt wird. Da diese externe Spannung jede gewünschte Kurvenform aufweisen kann, ist es möglich, das Verhalten dieser Spannung gegenüber der am Y-Eingang liegenden zu sehen.

Zeitgleich mit dem Ende des Anstiegs der Sägezahnspannung werden drei Vorgänge innerhalb der Steuerung des Oszilloskops ausgelöst:

- Der Kondensator im Ladekreis wird entladen und damit der Strahlrücklauf ausgelöst.
- Ein negatives Austastsignal für die Strahlrücklaufunterdrückung wird erzeugt.
- Es wird ein Signal erzeugt, das den Beginn eines neuen Ladevorgangs verhindert, bevor der Kondensator vollständig entladen ist.

Der erste Triggerimpuls nach Ende dieses Signals erzeugt einen weiteren Ladevorgang. Der Zeitabstand zwischen jedem Ablauf der Zeitbasis ist also bestimmt durch den Zeitabstand zwischen den folgenden Triggerimpulsen, d. h. je höher die Signalfrequenz, umso höher ist die Wiederholfrequenz der Abläufe der Zeitbasis.

2.1.3 Triggerung

Während des Triggervorgangs (trigger = anstoßen, auslösen) steuert entweder eine interne oder externe Spannung den Schmitt-Trigger an.

- **Interne Triggerung:** Liegt am Eingang ein periodisch wiederkehrendes Signal an, so muss über die Zeitablenkung sichergestellt werden, dass in jedem Zyklus der Zeitbasis ein kompletter Strahl geschrieben wird, der Punkt für Punkt deckungsgleich ist mit jedem vorherigen Strahl. Ist dies der Fall, ergibt sich eine stabile Darstellung. Bei dieser Triggerung wird diese Stabilität durch Verwendung des am Y-Eingang liegenden Signals zur Kontrolle des Startpunkts jedes horizontalen Ablenkzyklus erreicht. Man verwendet dazu einen Teil der Signalamplitude des Y-Kanals zur Ansteuerung einer Triggerschaltung, die die Triggerimpulse für den Sägezahngenerator erzeugt. Damit stellt das Oszilloskop sicher, dass die Zeitablenkung nur gleichzeitig mit Erreichen eines Impulses ausgelöst werden kann. *Abb. 2.8* zeigt den zeitlichen Zusammenhang zwischen Eingangsspannung, Ablenkspannung und Schirmbild, wobei links ohne und rechts mit einer Signalverstärkung im Y-Kanal gearbeitet wird.
- **Externe Triggerung:** Ein extern anliegendes Signal, das mit dem zu messenden Signal am Y-Eingang verknüpft ist, lässt sich ebenso zur Erzeugung von Triggerimpulsen verwenden.

Der Schmitt-Trigger wandelt die ankommenden Spannungen, die verschiedene Charakteristiken aufweisen können, in eine Serie von Impulsen mit fester Amplitude und Anstiegszeit um. Am Ausgang des Schmitt-Triggers befindet sich eine Kondensator-Widerstandsschaltung zur Erzeugung von Nadelimpulsen und nach dieser Differenzierung wird der Zeitbasisgenerator ausgelöst.

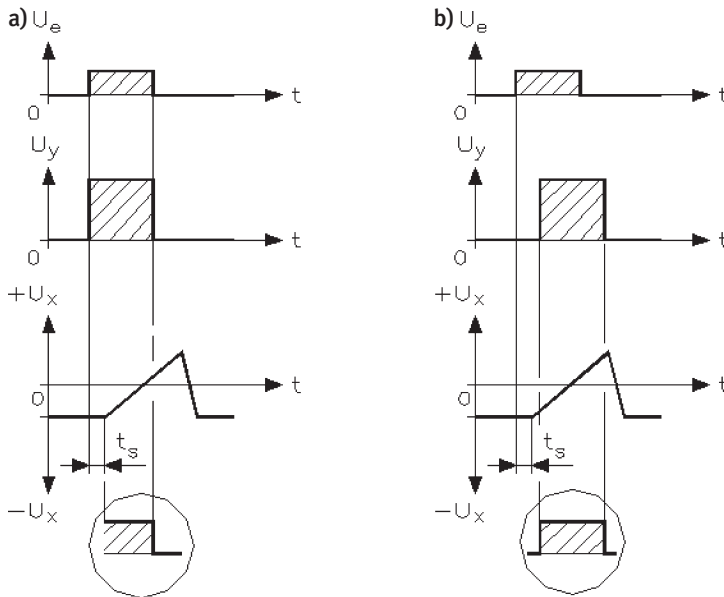


Abb. 2.8: Zeitlicher Zusammenhang zwischen Eingangsspannung, Ablenkspannung und Schirmbild, wobei die Kurvenzüge a) ohne und b) mit einer Signalverstärkung im Y-Kanal arbeiten.

Die Triggerimpulse am Eingang des Automatikschaltkreises (Abb. 2.8) sorgen für die Erzeugung eines konstanten Gleichspannungspegels am Ausgang. Dieser Ausgang ist auf den Eingang am Zeitbasisgenerator geschaltet.

Sind keine Triggerimpulse mehr am Eingang des Zeitbasisgenerators vorhanden oder fällt die Amplitude unter einen bestimmten Pegel, wird der Gleichspannungspegel, der durch den Automatikschaltkreis erzeugt wird, abgeschaltet. Damit lässt sich der Zeitbasisgenerator in die Lage versetzen, selbsttätige Ladevorgänge auszulösen. Es kommt also zur Selbsttriggerung oder einem undefinierten Freilauf. Der Ablauf der Zeitbasis ist dann nicht mehr von der Existenz der Triggerimpulse abhängig. Obwohl sich der Freilauf des Zeitbasisgenerators nicht für Messungen verwenden lässt, hat er eine spezielle Funktion. Ohne diese Möglichkeit würde ein am Eingang des Oszilloskops zu stark abgeschwächtes Signal oder eine falsche Stellung des Triggerwahlschalters keine Anzeige erzeugen. Der Anwender könnte nicht sofort erkennen, ob tatsächlich ein Eingangssignal vorhanden ist oder nicht.

Es gibt praktische Anwendungsfälle in der Messtechnik, bei denen größere Freiheit bei der Wahl des Triggerpunktes erforderlich ist, oder aber eine Änderung im Amplitudenpegel des Eingangssignals verursacht eine nicht exakte Triggerung. In diesem Falle kann man auf die externe Triggermöglichkeit zurückgreifen.

Ein externes Triggersignal wird auf die Buchse mit der Bezeichnung TRIG an der Frontplatte gegeben und der benachbarte Triggerwahlschalter in die Stellung EXT gebracht. Das Signal wird dann in gleicher Weise weiterbehandelt, wie das für ein internes Triggersignal der Fall ist.

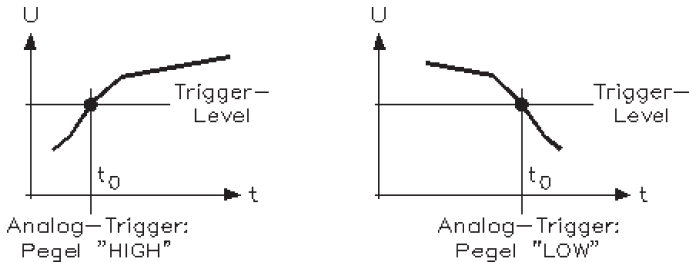


Abb. 2.9: Schwellwerttriggerung eines analogen Eingangssignals in positiver und negativer Richtung

Die Schwellwerttriggerung kann in positiver und negativer Richtung (Abb. 2.9) erfolgen. Damit lässt sich der Zeitbasisgenerator triggern und erzeugt die Sägezahnspannung und die sie begleitenden Impulse für die Rücklaufunterdrückung. Die Sägezahnspannung liegt nach ihrer Verstärkung an den X-Platten der Elektronenstrahlröhre und erzeugt so die Zeitablenkung. Der linear ansteigende Teil der Sägezahnspannung wird durch ein Integrationsverfahren erzeugt. Ein Kondensator lädt sich über einen Widerstand an einer Konstantstromquelle auf. Die Erhöhung der Kondensatorspannung in Abhängigkeit von der Zeit ist nur vom Wert des Kondensators und von der Größe des Ladestroms abhängig. Die Größe des Ladestroms lässt sich durch den Wert des in Reihe geschalteten Widerstands bestimmen, d. h. beides, der Reihenwiderstand und der Kondensator, werden durch die Stellung des TIME/Div-Schalters auf der Frontplatte gewählt. Dreht man den Feineinsteller auf diesem Schalter aus seiner justierten Stellung CAL heraus, wird die Wobbelgeschwindigkeit kontinuierlich kleiner und die Darstellung auf dem Bildschirm erscheint in komprimierter Form, die man nicht für seine Messzwecke verwenden soll.

Zeitgleich mit dem Ende der Anstiegsflanke der Sägezahnspannung werden folgende drei Vorgänge ausgelöst:

- Der Kondensator im Ladekreis wird entladen und damit der Strahlrücklauf ausgelöst.
- Ein negatives Austastsignal für die Strahlrücklaufunterdrückung wird erzeugt.
- Es wird ein Signal erzeugt, das den Beginn eines neuen Ladevorgangs verhindert, bevor der Kondensator vollständig entladen ist.

Der erste Triggerimpuls nach Ende dieses Signals erzeugt einen weiteren Ladevorgang. Der Zeitabstand zwischen jedem Ablauf der Zeitbasis ist also bestimmt durch den Zeitabstand zwischen den nachfolgenden Triggerimpulsen, d. h. je höher die Signalfrequenz, umso höher ist die Wiederholfrequenz der Abläufe in der Zeitbasis.

Wie bereits erwähnt, werden die Impulse von dem Schmitt-Trigger über den Automatikschaltkreis so umgewandelt, dass sie als Gleichspannungspegel am Eingang des Zeitbasisgenerators anliegen. Sind die Triggerimpulse an diesem Eingang nicht mehr vorhanden oder fällt ihre Amplitude unter einen bestimmten Pegel, so versetzt der Gleichspannungspegel, der durch den Automatikschaltkreis erzeugt wird, den Zeitbasisgenerator in die Lage, selbsttätig Ladevorgänge auszulösen. Es wird also eine Selbsttriggerung oder ein Freilauf erfolgen. Der Abstand der Zeitbasis ist dann nicht mehr von der Existenz der Triggerimpulse abhängig.

Für spezielle Anwendungen in der Messpraxis ist es erwünscht, auf dem Bildschirm eine Anzeige zu erhalten, die die Signale in den Y-Eingängen des Oszilloskops als eine Funktion anderer Variablen als der Zeit darstellt, wenn mit Lissajous-Figuren gearbeitet wird. In diesem Fall muss der Zeitbasisgenerator ausgeschaltet sein, d. h. der TIME/Div-Schalter ist in eine dazu markierte Stellung V/Div geschaltet, und das neue Referenzsignal wird auf die X-INPUT-Buchse auf der Frontplatte gelegt. Der Ablenkfaktor lässt sich mittels eines zweistufigen Eingangsabschwächers wählen. Das Referenzsignal wird verstärkt und direkt auf den X-Endverstärker durchgeschaltet. Während der Zeitbasisgenerator ausgeschaltet ist, geht die Y-Kanalumschaltung automatisch in den „chopped“-Betrieb mit Strahlunterdrückung während der Umschaltzeit über. Die Strahlrücklaufunterdrückung (X-Kanal) ist nicht mehr in Betrieb.

Die X-Endeinheit verstärkt entweder die Sägezahnspannung des Zeitbasisgenerators oder das externe Ablenksignal und schaltet es auf die X-Platte der Elektronenstrahlröhre. Der X-MAGN-Einstellknopf ist kontinuierlich einstellbar und wird benötigt, um die Verstärkung nochmals um den Faktor 5 zu erhöhen. Wird dieser Drehknopf auf der X1-Stellung nach links bewegt, erzeugt die entsprechende Schaltung eine kontinuierliche Erhöhung der Wobbelgeschwindigkeit, d. h. die Darstellung lässt sich kontinuierlich dehnen. Der auf diesem Drehknopf befindliche Einsteller X-POSITION sorgt für die horizontale Positionseinstellung des Strahls auf dem Bildschirm.

2.1.4 Y-Eingangskanal mit Verstärker

Ein am Eingang eines Y-Kanals anliegendes Signal wird entweder direkt über den DC-Anschluss oder über einen isolierenden Kondensator (AC) an den internen Stufenabschwächer gekoppelt. Der Kondensator ist erforderlich, wenn man ein sehr kleines Wechsellspannungssignal messen muss, das einem großen Gleichspannungssignal überlagert ist.

Der Stufenabschwächer, der über einen Schalter (V/cm oder V/Div) auf der Frontplatte des Geräts eingestellt wird, bestimmt den Ablenkfaktor. Das abgeschwächte Eingangssignal läuft dann über eine Anpassungsstufe, die die Impedanz des Eingangs bestimmt, zu dem eigentlichen Vorverstärker. Die verschiedenen Stufen eines jeden Kanals sind direkt gekoppelt, wie auch die Stufen innerhalb des Vorverstärkers selbst. Diese Kopplungsart ist notwendig, um eine verzerrungsfreie Darstellung auch eines

niederfrequenten Signals zu ermöglichen. Im Falle eines Verstärkers mit Wechselspannungskopplung, würde die am Eingang liegende Spannung die verschiedenen Verstärkerstufen über Kondensatoren erreichen und damit werden niedrige Frequenzen mehrfach abgeschwächt.

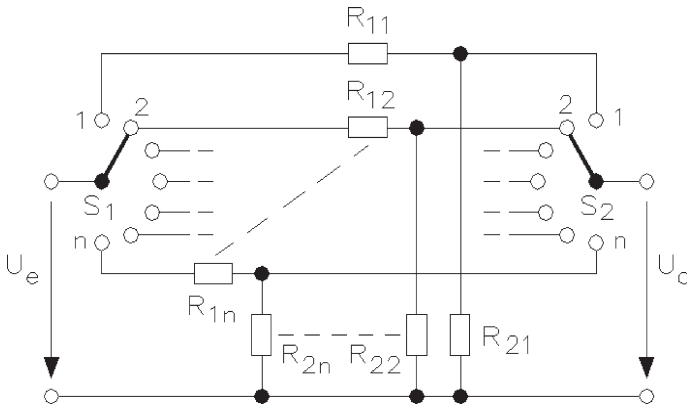


Abb. 2.10: Aufbau eines internen Spannungsteilers für den Stufenabschwächer am Eingang des Y-Kanals

Der elektrische Aufbau eines internen Spannungsteilers für den Stufenabschwächer (Abb. 2.10) besteht aus einem 2-Ebenenschalter und zahlreichen Widerständen. Die Eingangsspannung U_e liegt zuerst an dem mechanischen Schalter S_1 und wird von dort auf die einzelnen Spannungsteiler geschaltet. Die Ausgänge der Spannungsteiler sind über den zweiten Schalter S_2 zusammengefasst und es ergibt sich das entsprechende Ausgangssignal mit optimalen Amplitudenwerten für die nachfolgenden Y-Vorverstärker.

Das Problem bei einem Spannungsteiler sind die Bandbreiten, die durch die Widerstände und kapazitiven Leitungsverbindungen auftreten. Oszilloskope über 100 MHz sind meistens mit einem separaten 50- Ω -Eingang ausgestattet, um das Problem mit den Bandbreiten zu umgehen. Die Bandbreite ist die Differenz zwischen der oberen und unteren Grenzfrequenz, d. h. die Bandbreite ist der Abstand zwischen den beiden Frequenzen, bei denen die Spannung noch 70,7 % der vollen Bildhöhe erzeugt. Die volle, dem Ablenkkoeffizienten entsprechende Bildhöhe wird bei den mittleren Frequenzen erreicht. Seit 1970 basieren die Oszilloskope auf der Gleichspannungsverstärkung mittels Transistoren bzw. Operationsverstärkern und damit gilt für die untere Grenzfrequenz $f_u = 0$ bzw. die Bandbreite ist gleich der oberen Grenzfrequenz. Bei den meisten Elektronenstrahlröhren ab 1980 erreicht man Grenzfrequenzen von 150 MHz bis 2 GHz. Bei den Oszilloskopen wird jedoch die Bandbreite in der Praxis nicht von der Elektronenstrahlröhre, sondern von den einzelnen Verstärkerstufen bestimmt. Da mit steigender Bandbreite der technische Aufwand und die Rauschspannung steigen, wählt man die Bandbreite nur so hoch, wie es der jeweilige Verwendungszweck fordert:

- NF-Oszilloskop: Benötigt man ein Oszilloskop für den niederfrequenten Bereich (< 1 MHz), ist ein Messgerät mit einer Bandbreite bis 5 MHz völlig ausreichend. Dieser Wert bezieht sich immer auf den Y-Eingang. Die Bandbreite des X-Verstärkers ist meist um den Faktor 0,1 kleiner, da bei der höchsten Frequenz am Y-Eingang und der größten Ablenkgeschwindigkeit in X-Richtung ca. zehn Schwingungen auf dem Schirm sichtbar sind.
- HF-Oszilloskop: Für Fernsehgeräte, den gesamten Videobereich und teilweise auch für die Telekommunikation benötigt man Bandbreiten bis zu 50 MHz.
- Samplingoszilloskop: Für die Darstellung von Spannungen mit Frequenzen zwischen 100 MHz bis 5 GHz sind Speicheroszilloskope erhältlich. Bei ihnen wird das hochfrequente Signal gespeichert, dann mit niedrigerer Frequenz abgetastet und auf dem Schirm ausgegeben.

Ein Oszilloskop soll die zu untersuchende Schaltung nicht beeinflussen. Da Oszilloskope immer als Spannungsmesser arbeiten, werden sie parallel zum Messobjekt geschaltet. Der Innenwiderstand eines Oszilloskops muss daher möglichst groß sein. Dem sind jedoch in der Praxis folgende Grenzen gesetzt:

- Zur Einstellung unterschiedlicher Messbereiche befindet sich am Eingang eines Oszilloskops ein justierter Spannungsteiler. Damit das eingestellte Spannungsteilverhältnis innerhalb einer ausreichenden Genauigkeit liegt, müssen die Spannungsteilerwiderstände klein sein gegenüber dem Eingangswiderstand des nachfolgenden Vorverstärkers.
- Mit steigendem Widerstandswert der Spannungsteilerwiderstände steigt aber die Rauschspannung.

Daher ergeben sich in der Praxis verschiedene Eingangswiderstände zwischen 500 k Ω bis 10 M Ω . Der Eingangsspannungsteiler ist immer so aufgebaut, dass der Eingangswiderstand über alle Messbereiche konstant bleibt. Oszilloskope mit Bandbreiten über 100 MHz sind häufig mit einem zusätzlichen 50- Ω -Eingang ausgerüstet. Damit liegt man im Bereich der in der HF-Technik üblichen Abschlusswiderstände, zum anderen bleibt dadurch trotz der großen Bandbreite das Rauschen gering.

Ebenfalls wichtig für den Y-Eingang ist die Anstiegszeit t_r (rise time). Es handelt sich um die Zeit, die der Elektronenstrahl bei idealem Spannungssprung am Y-Eingang benötigt, um von 10 % auf 90 % des Endwerts anzusteigen. Die Anstiegszeit kennzeichnet, wie gut sich das jeweilige Oszilloskop zur Darstellung impulsförmiger Signale eignet, wie diese z. B. in der Fernseh- und Digitaltechnik vorkommen. Die Größe der Anstiegszeit wird von der Bandbreite des Y-Verstärkers bestimmt. Enthält der Verstärker viele RC-Glieder, die man aus Stabilitätsgründen benötigt, ergibt sich eine erhebliche Reduzierung der Grenzfrequenz. Das Frequenzverhalten eines Gleichspannungsverstärkers entspricht daher dem eines RC-Tiefpassfilters, d. h. die Ausgangsspannung steigt bei sprunghafter Änderung der Eingangsspannung nach

einer e-Funktion an. Wenn sich die Spannung nach einer e-Funktion von 10 % auf 90 % ändert, ergibt sich eine Zeitkonstante von $\tau = 2,2$, also:

$$t_r = 2,2 \times \tau = 2,2 \times R \times C$$

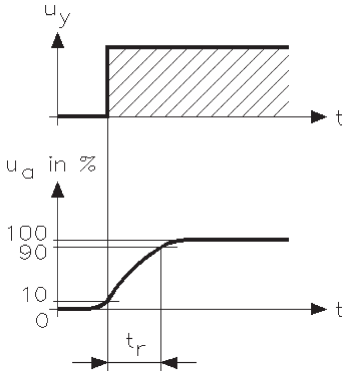


Abb. 2.11: Anstiegsgeschwindigkeit

Der zeitliche Verlauf der Anstiegsgeschwindigkeit (*Abb. 2.11*) bei einem Oszilloskop ist von der Eingangsbeschaltung abhängig. Für die Grenzfrequenz f_0 des RC-Tiefpassfilters, die der Bandbreite Δf (b) des Verstärkers entspricht, gilt:

$$f_0 = \Delta f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad t_r = \Delta f = R \cdot C \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{2,2}{2 \cdot \pi} = 0,35 = \textit{konstant}$$

Damit gilt:

$$t_r = 0,35 \cdot \frac{1}{\Delta f}$$

Die Anstiegszeit beträgt demnach:

- bei $b = 100$ kHz: $t_r = 3,5 \mu\text{s}$
- bei $b = 10$ MHz: $t_r = 35$ ns
- bei $b = 50$ MHz: $t_r = 7$ ns

Diese Werte kann man anhand der Datenblätter überprüfen.

Die große Bandbreite der Verstärker wird häufig dadurch erreicht, dass man den Einfluss der Schaltkapazitäten durch kleine Induktivitäten teilweise kompensiert. Das kann jedoch zu einem Überschwingen führen, d. h. der Elektronenstrahl geht wie der mechanische Zeiger eines nicht gedämpften Drehspulmesswerks erst über seinen Endwert hinaus. Damit das Überschwingen den dargestellten Impuls nicht sichtbar verfälscht, wird das Überschwingen unter 5 %, meist sogar unter 2 % der Amplitude gehalten.

Sachverzeichnis

A

Ablenkkoeffizient 140
Abschwächer 164
Abtastintervall 180, 181
Abtastrate 181, 191
Abtasttakt 176
AC-DC-Wandler 249
Aderbruch 117
Aderschluss 117
Akquisitionsspeicher 207
Aliasing 184
AM-Verfahren 391
Analogschalter 257
Analysator 231
Anstiegszeit 166
Äquivalenzzeitabtastung 185
ARB-Generator 212
Aron-Schaltung 106
Astabile Funktion 307
Astatistisches Messsystem 61
Ausgleichswiderstand 79
Autoset-Funktion 184
Auto-Zero-Phase 277

B

Bandbreite 147, 149, 166
BCD-Code 256
BCD-Schalter 300
Bereichsumschalter 79
Beschriftung 18
Betriebsmessgerät 36
Bifilar 76
Binärcode 256
Blindleistung 107
Blindleistungsmesser 101
Blindwiderstand 94
Brückenschaltung 88

C

Chopperbetrieb 151
Crest-Faktor 227
Cursor 217

D

Dämpfung 29
Darstellungsrate 191
Decodierlogik 256
Deintegration 234
Digitale Filterung 208
Digitalmultimeter 225
Digitalvoltmeter 262
Doppelbrücke 90
Dot-Modus 203
Dreheisen-Messwerk 13, 50
Drehmagnet-Messwerk 52
Drehmagnet-Quotientenmesswerk 54
Drehmoment 27
Drehspule 13
Drehspul-Galvanometer 57
Drehspul-Messwerk 13, 54
Drehspul-Quotientenmesswerk 59
Drehzahlmesser 304
Dreieckfunktion 392
Dreieckschwingung 379
Dreileiternetz 105

E

Echtzeit 130
Eigenverbrauch 34, 48
Einschwingvorgang 191
Eisennadel-Galvanometer 52
Eisennadel-Messwerk 52

Elektrizitätszähler 72, 111
 Elektrodynamisches Messwerk 13, 60
 Elektrodynamisches Quotienten-Messwerk
 63
 Elektroskop 65
 Elektrostatiches Messwerk 65
 Erdschluss 117
 Ereignisse 345
 Ereigniszähler 302
 Ereigniszählung 320
 Externe Triggerung 143

F

Fast-Fourier-Transformation 209
 Fehlercharakteristik 42
 Fehlerfortpflanzung 45
 Fehlerkorrektur 37
 Fehlerkurve 36
 Fehlerort 116
 FFT-Spektrum 209
 Flankensteilheit 327
 Flüssigkristallanzeige 273
 Frequenz 345
 Frequenzjitter 283
 Frequenzmesser 64
 Frequenzmessgerät 314
 Frequenzmessung 71, 320, 355
 Frequenzmodulation 363
 Frequenznormal 314
 Frequenzumtastung 393
 Frequenzverhältnis 345
 Frequenzverhältnismessung 320
 Frequenzzähler 320, 333, 355
 FSK-Eingang 393
 Fünfleiternetz 105
 Funktionsgenerator 363, 379, 385, 391

G

Galvanometer 57
 Gebrauchslage 19
 Geistersignal 184
 Genauigkeitsklasse 37

Gesamttemperaturbeiwert 84
 Ghosting-Effekt 326, 352
 Gitterraster 156
 Gleichtaktspannungsbereich 293
 Glitch 194, 199, 202
 Glockenkurve 41
 Gütefaktor 48

H

HF-Oszilloskop 148
 HF-Tastkopf 154
 HF-Wobbler 387
 Hitzdraht-Messwerk 70, 71
 Hüllkurven-Modus 207
 Hystereseband 202

I

IC-Zeitgeber 305
 Induktionsmotor-Zähler 73
 Induktivitätsmessungen 94
 Integrationskondensator 282
 Integrationswiderstand 282
 Intensity 159
 Interferenz 165
 Interne Triggerung 143
 Isolationsmessung 114

J

Johnson-Zähler-Code 358
 Justierung 37

K

Kalibrieren 227
 Kapazitätsmessbrücke 97
 Kapazitätsmessung 65, 93
 Kapazitätsvergleich 93
 Kaskadierung 298

Katodenstrahloszilloskop 132
 Kennwiderstand 48, 82
 Kernmagnet-Messwerk 60
 Kirchhoffsche Regeln 80
 Klärpunkt 229
 Kompensationsmessung 91
 Kreisbogenzeiger 15
 Kreuzfeld-Messwerk 63
 Kreuzspul-Messwerk 59
 Kurbelinduktor-Isolationsmessgerät 114
 Kurzzeichen 19

L

Ladungsüberkopplungen 242
 Lagefehler 32
 Latch up 273, 314
 LCD 225
 Leistungsfaktormesser 65, 110
 Leistungsmesser 102
 Lichtzeiger-Galvanometer 58
 Lissajous-Figur 146
 Luftkammerdämpfung 32
 Luftspalt 56

M

Maxwell-Brücke 98, 100
 Maxwell-Wien-Brücke 99
 Messbereichserweiterung 74, 77, 82
 Messdrehmoment 55
 Messgerät 16
 Messinstrument 16
 Messumformer 21
 Messwandler 21
 Messwerk 16
 Messwiderstand 75
 Mittelwertbildung 207
 Modulationssignal 368
 Multifunktions-Stromzähler 126
 Multifunktionszähler 320
 Multiplexbetrieb 297
 Multiplizierer 392

N

Nachjustierung 36
 Nebenwiderstand 75, 78, 80
 NF-Oszilloskop 148
 NF-Wobbler 387
 Nominalfrequenz 382
 Normalelement 92
 Normalverteilung 41
 Normalwiderstand 87
 Nullabgleich 234, 277, 292
 Nulldurchgangsflipflop 284
 Nullunterdrückung 299
 N-Zyklus-Triggerung 201

O

Offset 241
 Ohmwandler 249, 252
 Oktalcode 256
 Oszillatorfrequenz 239
 Oszillator-Zeitgeber 310
 Oszilloskop 130

P

Parallaxenfehler 30, 44
 Periodendauer 345
 Periodendauermessgerät 315
 Periodendauermessung 320, 355
 Phasendetektor 389
 PLL 393
 Polarisator 231
 Polarisierer 273
 Polschuhform 56
 Post-Trigger 175, 186, 194
 Präzisions-Funktionsgenerator 379
 Präzisionszähler 314
 Pre-Trigger 163, 175, 194
 Prüfling 36
 Prüfprotokoll 37
 Prüfspannung 19
 Pufferverstärker 282

Q

Quarzfrequenz 314
 Quellenleistung 102

R

Random-Sampling 187
 Rasterlinie 221
 Ratiometrische Fehler 282
 Rauschpegel 165
 Rechteckschwingung 379
 Referenz-Integration 234
 Referenzoszillator 321
 Resonanz-Messmethode 94
 Resonanzverfahren 96
 Rogowskispulen 124
 Rollmodus 197
 Roll-Over-Fehler 235
 Rückdrehmoment 27
 Rücklaufunterdrückung 142
 Rückstellmoment 55
 Rückwärtsbetrieb 298
 Runt-Trigger 203

S

Sägezahnspannung 142
 Sample&Hold 177
 Samplingoszilloskop 148
 Scheinleistung 95, 100, 108
 Schering-Brücke 99
 Schmelzpunkt 229
 Schmitt-Trigger 327
 Schutzring-Elektrometer 66
 Schwellerschalter 327
 Schwellwerttriggerung 145
 Selbsttriggerung 144
 Shannonsches Abtasttheorem 181
 S&H-Einheit 177
 Shunt 124
 Signalintegration 293
 Signal-Integration 234

Single-Shot-Signal 188
 Sinnbilder 19
 Sinus-Interpolation 183, 203
 Sinuskonverter 391
 Sinusschwingung 379
 Skala 24
 Skalenbeschriftung 21
 Skalenverlauf 50, 56
 Skalierungsfaktor 240
 Softkeys 192
 Spannbandlagerung 31
 Spannungspfad 38, 62
 Spannungsvergleich 93
 Speicheroszilloskop 130, 176
 Spitzenlagerung 31
 Spitzenwerterkennung 195
 Standardabweichung 44
 Stromartenumschalter 79
 Strommesser 79
 Strompfad 38, 62
 Stufenabschwächer 146
 Subharmonische 246

T

Tachometer 304
 Taktfrequenz 308
 Tastkopf 153
 Tastverhältnis 308
 Temperaturdrift 307
 Thermometer 265
 Torsionsverdrehungsmoment 27
 Transmissive Anzeige 231
 Trigger 193
 Triggerereignis 162
 Triggerimpuls 141
 Triggerpegel 215
 Triggerquelle 171
 Triggerung 200
 Triplex-Anzeige 271
 T-Spul-Messwerk 60
 TV-Bild 173

U

Universal-Messinstrument 76
Universalzähler 333, 345, 355
Unsicherheit 45

V

Variable-Modus 221
VCO 391
VDE 0100 115
VDE 0410 32
VDE 0418 111
VDE-Norm 18
Verbraucherleistung 102
Verhältniswertmessgerät 69
Verzögerungsleitung 162
Vibrations-Messwerk 71
Vierleiternetz 105
Vorwärts zählen 298
Vorwiderstand 74

W

Wahrscheinlichkeitsdichte 41
Wanderfeld-Messwerk 68, 73
Wattmeter 63, 104
Wattsekunde 111
Wechselstrom-Messbrücke 97
Wehnelt-Zylinder 134
Weicheisen-Messwerk 49
Weston-Normalelement 92
Wheatstone-Brücke 88
Wien-Brücke 98

Wien-Robinson-Brücke 98
Wirbelstromdämpfung 32
Wirkleistung 95, 101, 108
Wobbelhub 371
Wobbler 363

X

X-Verstärker 140
X-Y-Modus 206

Y

Y-Verstärker 140

Z

Zeiger 29
Zeigerinstrument 11
Zeitablenkung 132
Zeitbasis 142, 162, 213
Zeitbasisdehnung 168, 198
Zeitbasisgenerator 140
Zeitbasisteiler 314
Zeitbasiszähler 321
Zeitgeber 305
Zeitintervall 345
Zeitintervallmessung 355
Zeitmessung 317
Z-Modulation 160
Zufälliger Fehler 42
Zweistrahloszilloskop 150